

技術論文

DOI: <http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2012.40.2.157>

탄소섬유 복합재를 이용한 위성용 다기능 구조체의 방열성능 분석

김택영*, 현범석**, 서영배*, 장태성***, 서현석****, 이장준*****, 김원석****, 이주훈*****

Study on the Thermal Radiation Performance of the Multi-functional Structure Made of the Carbon Fiber Composite Material

Taig Young Kim*, Bum-Seok Hyun**, Young Bae Seo*, Tae Seong Jang***, Hyun-Suk Seo****, Jang-Joon Lee*****, Wonseock Kim**** and Juhun Rhee*****

ABSTRACT

The design strategy of the multi-functional structure is that the electrical components and the circuits are directly put on their supporting structural panel in which the radiation shields and the thermal control functions are integrated. Applying the multi-functional structure reduces the total mass and size of the space system and makes it possible to lower launch cost. In present study the performance of thermal radiation for six types of multi-functional structure are investigated by the numerical method. The effect of the rib configuration on heat transfer for the multi-functional-structure is not important alone but is meaningful considering with the structural stiffness, difficulty of manufacturing and mass increase. In heat spreading point of view, the thickness of the outer conductive layer is important rather than the rib configuration and the trade-off study with the mass and thickness is required for optimum design.

초 록

다기능 구조체는 전자장비, 열제어 부품, 우주복사 차폐물 및 지지구조물이 하나의 시스템으로 통합된 구조적 결합체로써, 위성 및 행성탐사선 모듈의 소형화/경량화를 달성하여 경제성을 획기적으로 향상시킬 수 있는 매우 중요한 첨단 모듈이다. 본 연구에서는 구조적인 강도를 고려하여 설계된 다기능 구조체의 6가지 형상에 대하여 방열성능을 수치해석적인 방법으로 검토하였다. 다기능 구조체의 rib 형상이 방열판 내 전열효과에 미치는 영향은 열전도 측면만을 고려하는 것은 의미가 없으며, 구조적인 강성, 제작의 난점, 무게 등을 모두 고려하여야 하고, 전열 측면에서는 rib의 형상보다 면재 외부층의 두께와 무게에 대한 trade-off를 통하여 최적화하는 것이 일반적으로 유효하다고 판단된다.

Key Words : Multi-functional Structure(다기능 구조체), Carbon Fiber Composite Material (탄소섬유복합재), Optimum Thermal Design(최적 열설계)

† 2011년 10월 27일 접수 ~ 2012년 1월 5일 심사완료

* 정회원, 한국산업기술대학교

** 정회원, 한국항공우주연구원

교신저자, E-mail : bshyun@kari.re.kr

대전시 유성구 과학로 115

*** 정회원, KAIST 인공위성센터

**** 정회원, 한국항공우주산업(주)

***** 정회원, 한국항공우주연구원

1. 서 론

인공위성에 사용되는 우주용 전자장비들은 지상에서 사용하는 장비에 비하여 대부분 부피가 크고 무겁다. 이는 기본적으로 우주용 장비에 대한 높은 신뢰도 요구조건에 기인한다. 그러나 우

주용 장비의 운용에 대한 경험이 이미 수십 년을 경과하였고, 다양한 자료가 축적됨에 따라 신뢰도에 대하여 과도한 설계가 필요치 않은 부분이 확인되고 있다. 불필요한 과대 설계는 위성의 거대화 및 시스템 복잡성의 원인이 되며, 중량이 증가함에 따라 비경제적이고 발사체에 제약이 따른다. 이를 극복하기 위한 적절한 대안으로 제시된 다기능 구조체는 기존 우주기술의 한계로부터 탈피하여 지상에서 사용하는 반도체 집적회로나 인쇄회로기판의 개념을 채용한 것이다^{(1),(2),(3),(4)}. 즉, 위성 구조물 판위에 회로를 직접 입힘으로써 전자부품이나 모듈 등을 구현하여 무게와 부피를 획기적으로 감소시킬 수 있다. 이와 같은 기술이 현실화되려면, 단지 전자장비나 모듈의 기능만이 구현되는 것으로는 불가능하다. 부품이나 모듈의 커버 등이 담당하던 열제어기능, 복사차폐 효과 및 구조적인 안정성을 단일 판형 구조체가 모두 감당하여야 하며, 이에 대한 총체적인 복합 설계가 필요하다. 특히, 각각의 기능에 대한 구현을 위하여 독립적으로 진행되는 설계와는 달리 총체적인 틀에서 시스템 차원의 설계가 구체적이고 유기적으로 수행되도록 하여야 한다.

본 연구에서는 상술한 바와 같은 목적을 달성할 수 있도록 설계된 다기능 구조체의 방열성능을 평가하고 최적화 안을 제시하는 것을 목표로 한다⁽⁵⁾. 인공위성 열제어부의 궁극적인 역할은 전자부품을 최적온도조건에서 작동하도록 제어하는 것이지만, 다기능 구조체에 있어서는 이를 독립적인 틀에서 구현하는 것이 아니라 좀 더 능동적으로 시스템 차원의 접근을 통하여 열제어가 달성될 수 있도록 최적화 하는 것이 기본적인 설계 개념에 부합된다. 즉, 제시될 수 있는 다기능 구조체의 형상을 직접 이용하고, 열제어 부품의 사용을 최대한 절제함으로써 기술개발 목표인 소형 및 경량화를 지향하는 최적의 열설계 안이 제시되어야 할 것이다.

본 연구에서는 탄소섬유 복합체로 제작되는 다기능 구조물의 전열 및 방열 특성을 파악하고 기본적인 열설계의 최적화 안을 제시하기 위한 수치해석적인 연구를 수행하였다. 경량화를 위하여 탄소복합체를 이용하고, 구조적인 안정을 위하여 rib을 보강함으로써 다기능 구조체는 설계된다. 이때 복합재 구조물 면재에 전자장비의 회로를 직접 구현한다. 구조물은 그 자체로써 방열판의 역할을 담당하며, 전열은 탄소섬유의 열전도성과 섬유의 배열을 적절히 설계함으로써 달성한다. 면재의 외부는 복합재의 표면방사계수가 크므로 특별한 표면처리 없이 방열판으로 사용한다.

다. 보강재인 rib은 구조적인 요구조건에 의하여 다양한 형상이 제시될 수 있다. Rib은 그 자체가 전열에 효과적일 수 있다. 본 연구에서는 구조적인 강성과 전자회로의 장착이 가능하도록 제안된 6가지 형상의 rib에 대한 분석을 수행하였다. 구조물의 면재는 전열에 있어 가장 중요하다. 면재는 두 가지 종류의 복합재를 복층으로 하여 설계하였다. 내부층은 구조적으로 강성이 세고, 구조물 제작 시 rib과의 접합에 용이하도록 rib과 동일한 재질을 사용하였으며, 외부에는 전열효과가 우수한 재질의 층을 사용함으로써 열설계를 보완하였다. 전열 성능이 우수한 복합재층의 두께에 대한 case study를 수행하였으며, 그 결과에 기초하여 열설계의 최적화 안을 제시하였다.

II. 본 론

본 연구에서는 Fig. 1에 제시한 바와 같이 6가지 rib 형상에 대한 방열 특성을 분석하였다. Rib의 형상과 조밀도 및 면재의 두께에 따라 구조물의 설계안을 구분하였다. 즉, CASE#-R\$-FS#과 같은 분류명칭에서 rib의 형상에 따라 CASE를 구분하였고, 다음 rib의 조밀도를 나타내기 위하여 RN, RC, RD를 사용하였으며 각각 rib이 없는 경우, coarse 및 dense를 의미한다. 면재의 두께를 구분하기 위하여 FS1~4를 사용하였다. Table 1에는 본 연구에서 고려한 13가지 설계형상을 정리하였다.

Table 1. Names of cases studies and their characteristic values

Name of cases	Rib configuration	Facesheet thickness [mm]	Equivalent facesheet conductivity [W/m·K]
CASE0-RN-FS1	no rib	1.16	87.4
CASE0-RN-FS2	no rib	1.64	116.5
CASE0-RN-FS3	no rib	2.12	132.4
CASE0-RN-FS4	no rib	2.60	142.4
CASE1-RC-FS2	iso-triangle	1.64	116.5
CASE1-RD-FS2	iso-triangle	1.64	116.5
CASE2-RC-FS1	rectangular	1.16	87.4
CASE2-RC-FS2	rectangular	1.64	116.5
CASE2-RC-FS3	rectangular	2.12	132.4
CASE2-RC-FS4	rectangular	2.60	142.4
CASE2-RD-FS2	rectangular	1.64	116.5
CASE3-RC-FS2	mixed	1.64	116.5
CASE3-RD-FS2	mixed	1.64	116.5

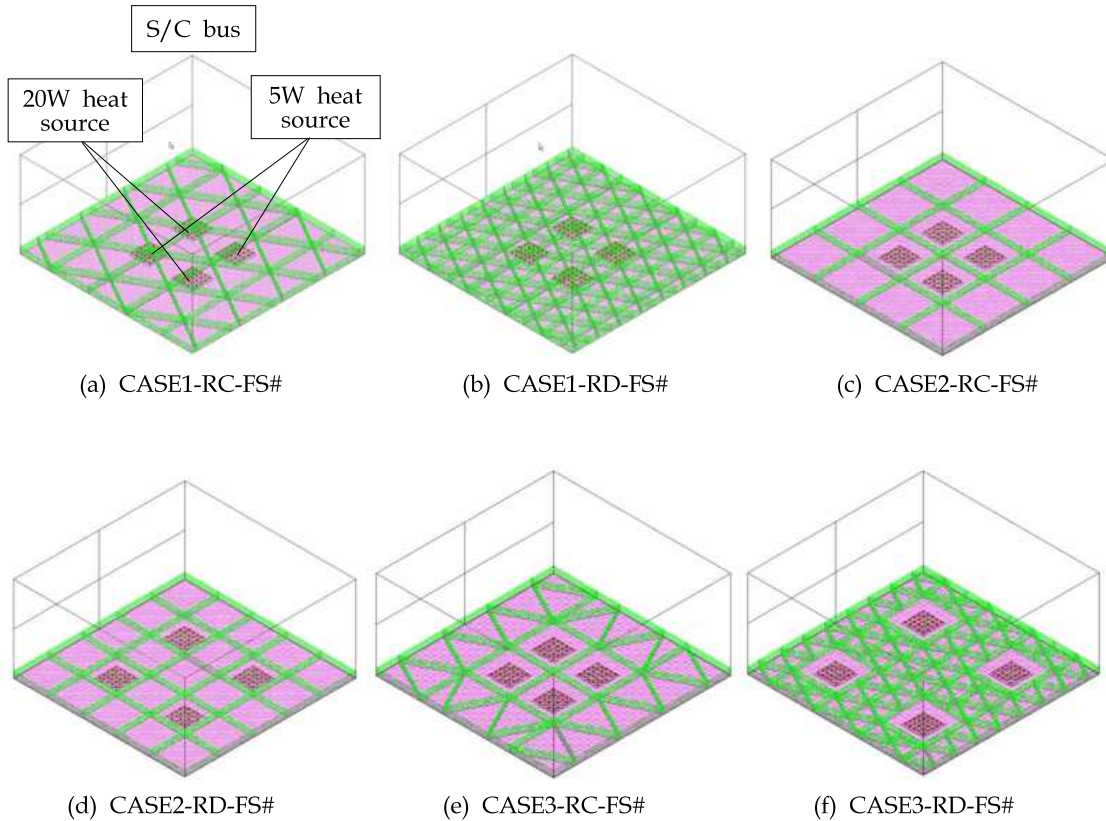


Fig. 1. Configurations of the multi-functional structure

Figure 1 (a)와 (b)에 나타난 바와 같이 삼각형 격자계는 rib의 형상에 따른 조밀도가 가장 높아서 구조적인 강성이 높지만 제작이 어렵고, 특히, 부품 구현부위에 rib를 장착하여야 하므로 난점이 많다. Fig. 1 (c), (d)와 같이 단순한 사각형 격자계의 경우 부품의 장착이 용이하며, 특히, 제작이 상대적으로 수월하다. 그러나 발사하중과 다기능 구조체의 본체장착에 대한 구조적 강성 요구조건이 커지면 제시한 바와 같은 직사각형 rib 구조로는 하중이 수용이 불가능하다. 큰 하중이 걸릴 경우에 대한 형상으로 Fig. 1 (e)와 (f)에 제시한 바와 같이 삼각형과 사각형 rib 구조를 혼합한 것을 고려할 수 있다. 이와 같은 보강된 rib의 구조는 큰 하중에 견디지만 제작이 사각형에 비하면 상대적으로 어렵고, 구조물의 질량이 증가하는 단점이 있다. 본 연구에서는 구조적 강성을 고려하여 제안된 6가지 형상의 rib에 대한 방열특성을 수치해석을 통하여 분석하였다.

다기능 구조체의 복합재 구조는 Fig. 2에 도시한 바와 같이 면재 및 rib으로 구성된다. 각 구성 요소에 사용되는 탄소복합재도 기능에 따라 다른

재질을 사용하므로 열적인 물성치가 다르다. 특히, 면재는 2가지 재질을 복층으로 접합하였으며, 내부층은 rib과 동일한 M55J/#3800으로 제작되며 외부층은 열전도가 매우 우수한 YS95A/RS-36 재질로 제작된다. 그림에 제시한 바와 같이 rib은 구조적 강성이 좋은 M55J/#3800을 사용하며, 섬유는 rib의 길이 방향으로 적층된다. 본 연구에서는 20층이 적층된 rib의 두께로 2.4mm를 고려하였고, 폭은 30mm이다. Rib의 적층 구조에 의하여 열전도도는 등방성이 아니다. 길이 방향으로는 탄소섬유의 열적 물성치가 강하게 작용하지만 폭 방향으로는 열전도도가 매우 작을 것이다.

언급한 바와 같이 면재는 구조적인 측면과 열적인 측면을 고려하여 2층으로 구성한다. 내부층은 구조적 강성 및 rib과의 결합을 고려하여 rib과 재질이 동일한 M55J/#3800으로 제작한다. 내부 면재의 적층구조는 [0/90/90/0] 등 4층 구조로써 주방향 좌표계(principal axis)에 대하여 열전도도가 같도록 설계된 이방성 구조물이다. 그러므로 수치해석의 좌표계 x, y 를 주방향 좌표계로 설정하면 비록 이방성 재질이라도 수학적인

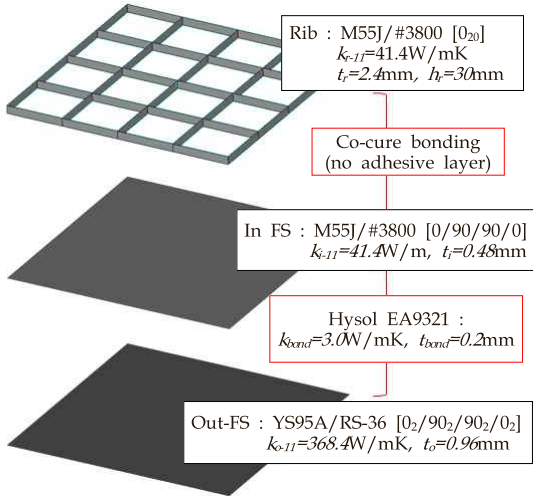


Fig. 2. Internal structure of the multi-functional structure

로 등방성 재질과 동등한 형태의 방정식으로 처리할 수 있다⁽⁶⁾. 내부층 총 두께는 0.48mm이고 rib과는 접합재를 사용하지 않고 co-cure bonding을 하여 단일체로 제작함으로써 구조적 강성을 배가한다. 면재 외부층은 열전도도가 큰 YS95A/RS-36 복합재를 사용하며, 적층구조는 [0₂/90₂/90₂/0₂]로써 내부 면재에서와 같이 수학적으로 등방성 열전도도의 재질과 동등한 형태로 취급하였다. 면재의 두께 변화에 따른 전열특성 분석을 위하여 열전도도가 우수한 외부층의 적층수를 조절하였다. 열전달 효과를 증가하려면 외부층의 적층수를 늘이면 되지만 이때 질량의 증가가 수반됨을 고려하여야 한다. 내부층과 외부층은 Hysol EA9321을 사용하여 cold bonding을 하며 접합층 두께는 0.2mm를 유지한다.

복합재료의 열전도도는 적층구조에 따라 비등방성의 특성을 나타내며, 다수 연구자들이 복합재의 열전도도를 수학적으로 정의하여 정리한 바 있다^{(7),(8)}. 본 연구에서는 rib과 면재의 적층구조에 따른 열전도도를 구할 수 있는 이론적 수식을 기존의 연구로부터 재정립하여 유효한 등가열전도도를 구하였으며, 이들 값을 이용하여 수치해석을 수행하였다. Mixture rule⁽⁵⁾에 의하여 복합재 섬유방향 열전도도는 다음과 같은 식으로 정의된다.

$$k_{11} = v_f k_f + (1 - v_f) k_m \quad (1)$$

이 식에서 하첨자 11은 섬유방향인 주방향을 의미하며, f 와 m 은 각각 섬유와 matrix를 지시한다. 또한, v_f 는 섬유의 순체적 V_f 와 복합재의 총체적 V_c 의 체적분율로써 $v_f = V_f/V_c$ 이다. 복합

재 섬유의 직교방향 열전도도는 Halpin-Tsai의 식⁽⁵⁾으로써 다음과 같이 정의 된다.

$$k_{22} = \frac{k_m(1 + \xi \eta v_f)}{1 - \eta v_f} \quad (2)$$

식 (2)에서 하첨자 22는 섬유방향에 대하여 직각방향을 의미한다. 상수 η 는 섬유와 matrix의 열전도도 비의 함수로써 다음 식으로 정의된다.

$$\eta = \frac{k_f/k_m - 1}{k_f/k_m + \xi} \quad (3)$$

상수 ξ 는 섬유단면의 형상인자 a , b 에 의하여 결정되는 값으로 $\xi = (a/b)^{1/3}$ 이다. 본 연구에서는 섬유의 단면을 원형으로 가정하여 $a/b = 1$ 을 적용하였다.

면재는 상기에서 구한 비등방성 열전도도를 갖는 복합재의 적층구조이지만, 적층된 면재에 대하여는 전술한 바와 같이 수치해석 좌표계와 주방향 좌표계를 일치하도록 설정함으로써 수학적으로 등방성 지배방정식과 동등한 형태로 처리하였다. 한편, 내부층과 외부층은 Hysol EA9321로 cold bonding되므로 3층 구조로 구성된다. 면재의 폭과 너비를 각각 w_{fs} , h_{fs} 라 하고, 내부층, 접합층 및 외부층의 두께가 각각 $t_{fs,i}$, $t_{fs,b}$, $t_{fs,o}$ 이면 내부층에서 너비방향으로 두께에 따른 단면에서의 열전달율은 다음 식과 같다.

$$\dot{Q}_{fs,i} = -k_{fs,i} A_{fs,i} \frac{\partial T_{fs,i}}{\partial x} \quad (4)$$

식 (4)에서 $A_{fs,i}$ 는 너비 방향의 단면적으로 $A_{fs,i} = w_{fs} \times t_{fs,i}$ 이다. 한편, x 는 너비방향 좌표계로써 열전달율이 이 방향으로의 온도구배에 비례함을 의미한다. 내부층의 등방성 평균 열전도도 $k_{fs,i}$ 는 섬유방향과 직교방향 열전도도의 평균치로써 $k_{fs,i} = (k_{11,i} + k_{22,i})/2$ 로 구하고, 접합층과 외부층에 대하여도 다음과 같이 동일하게 열전달율을 정의할 수 있다.

$$\dot{Q}_{fs,b} = -k_{fs,b} A_{fs,b} \frac{\partial T_{fs,b}}{\partial x} \quad (5)$$

$$\dot{Q}_{fs,o} = -k_{fs,o} A_{fs,o} \frac{\partial T_{fs,o}}{\partial x} \quad (6)$$

세 층이 복합된 면재의 총 열전달율은 이들 각각의 열전달율을 더한 값이다. 한편, 면재 각 층의 두께가 폭이나 너비에 비하여 매우 얇으므로 두께방향의 온도구배를 무시할 수 있다. 즉, 각 층 온도는 $T_{fs,i} = T_{fs,b} = T_{fs,o}$ 이고, 단면적을 두께와

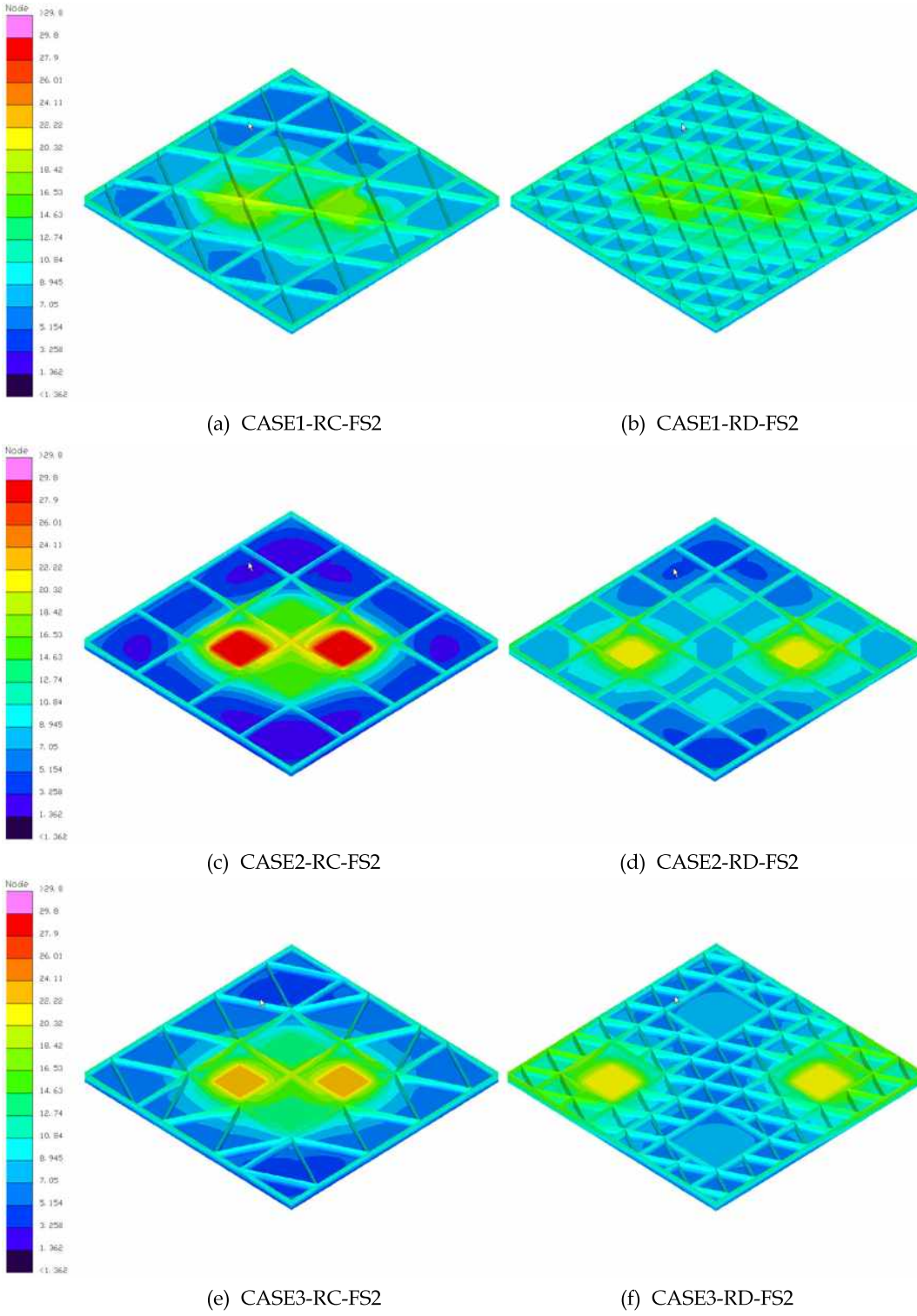


Fig. 3. Temperature distributions for 6 types of the multi-functional structure

폭의 곱으로 표현하면 위식은 다음과 같이 정리 된다.

$$\dot{Q}_{f_s} = -w_{f_s} t_{f_s} k_{f_s} \frac{\partial T_{f_s}}{\partial x} \quad (7)$$

식 (7)에서 k_{f_s} 는 적층된 면재의 등가열전도도로써 다음과 같은 식으로 정의된다.

$$k_{f_s} = \frac{k_{f_s,i} t_{f_s,i} + k_{f_s,b} t_{f_s,b} + k_{f_s,o} t_{f_s,o}}{t_{f_s,i} + t_{f_s,b} + t_{f_s,o}} \quad (8)$$

면재 외부층의 두께에 따른 수치해석 시, 각각 두께변화에 따라 등가열전도도는 Table 1에 제시한 바와 같이 재산출하였다.

Rib은 탄소섬유 M55J/#3800을 rib의 길이방향으로 적층한 구조이므로 열전도도는 섬유방향과 이에 직교방향이 서로 다른 비등방성이다. 식 (1)~(3)을 적용하면 각각 열전도도는 섬유방향으로 $k_{r,11}=41.4W/m \cdot K$, 직교방향으로는 $k_{r,22}=4.8W/m \cdot K$ 가 된다.

다기능 구조체의 면재와 rib은 수치해석을 위하여 모두 정렬격자계로 모델링하였으며, Fig. 1에 도시한 바와 같이 중심에 대하여 대칭 되도록 발열 부품을 배치하였다. 부품의 각각 발열량 5W 2개와 20W 2개 등 총 4개로 구성하였으며, 총 발열량은 50W가 된다. 열원은 전자부품을 모사한 것으로 실제 발열량은 위성 궤도상에서 임무수행 모드에 따라 변하겠지만 본 연구에서는 일정하게 유지된다고 가정하였다. 개발 중인 다기능 구조체는 위성의 본체에 장착될 예정이므로 Fig. 1에 도시한 바와 같이 위성 본체에 의하여 완전히 단힌 구조로 가정하여 경계조건을 부여하였다. 본체의 온도는 45°C로 균일하게 가정하였으며, 이는 최악고온조건에 해당한다. 위성 본체

경계면은 흑체로 가정하였고 외부는 Multi-Layer Insulation (MLI)로 단열 처리하였다. 수치해석은 위성 열해석 분야에서 사용되는 상용 code인 Thermal Desktop V4.8로써 수행하였다. Thermal Desktop의 preprocessor는 Autocad에 기반한다. 복사 열해석은 RadCAD를 이용하여 radiation conductor를 구하고 최종적인 열해석은 network analysis 방법을 적용한 SINDA/FLUINT로 계산한다. 지배방정식의 수렴을 위하여 explicit forward differencing 비정상상태 해석법을 적용하였다.

III. 결 과

언급한 바와 같이 Table 1은 수치해석을 수행한 13가지 경우의 형상에 대하여 정리한 것이다. Rib의 형상에 따른 온도분포의 변화를 Fig. 3에 도시하였다. 그림에서 비교되듯이 rib이 조밀한 RD의 경우 상대적으로 온도분포가 균일해진다. 이는 rib이 열분산에 상당한 영향을 미침을 의미한다. 특히, Fig. 3 (a), (b)와 같이 발열부품이 장착된 위치에 rib이 존재할 경우인 CASE1에서 온도분포가 가장 균일하다. Rib의 효과는 전도를 통한 면재로의 열분산 외에도 가열된 rib으로부터의 복사열 방사나 고온인 위성체로부터의 열복사 차폐도 가능하다. 발열부에 rib이 없는 CASE2, 3의 경우 rib을 통한 열분산 효과가 상대적으로 작을 수밖에 없다. 부품 장착부에 rib을 설치하는 것은 제작이나 조립 등 여러 가지 문제점을 수반하므로 실질적이지 못하다. 이 때문에 CASE2, 3이 선호되며, rib을 통하여 발열원으로부터 직접적인 열전도를 기대하기는 어렵다. 즉, 열전도 측면에서 rib의 형상과 두께를 조절하는

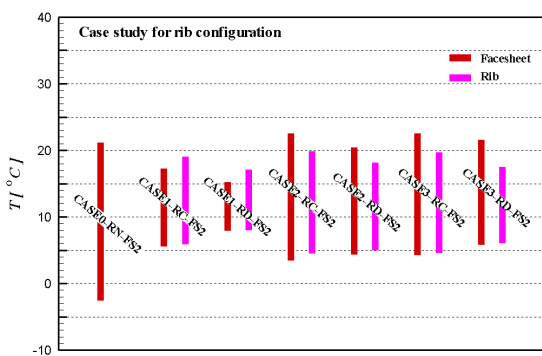


Fig. 4. Temperature ranges on the ribs and facesheets for the designed multi-functional structure

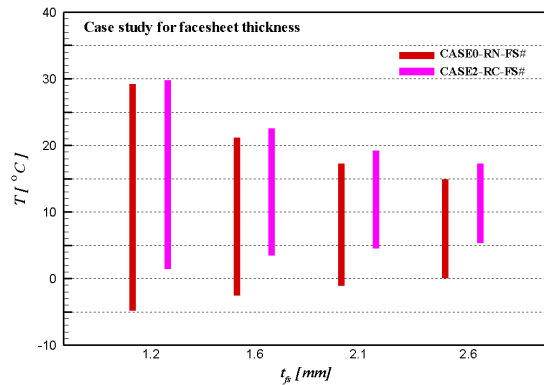


Fig. 5. Temperature ranges on the facesheets for the designed facesheet thickness of CASE0 and CASE2-RC

것이 가능하지만 이의 기대효과는 상대적으로 작아서 rib은 구조적인 강도 설계 시 제안된 안을 고려하면 될 것이다.

Rib의 효과에 대한 정량적인 비교를 위하여 Fig. 4에는 여러 가지 rib의 형상에 따른 다기능 구조물의 최고/최저온도 변화폭을 비교하여 제시하였다. 비교를 위하여 rib이 없는 경우 면재의 온도변화 폭을 함께 제시하였으며, 이 경우 면재의 온도변화가 가장 크다. Rib이 없을 경우, 면재의 최고/최저 온도차는 24°C이지만 rib이 가장 조밀한 CASE1-RD-FS2에서는 면재의 온도변화가 8°C 정도로 온도변화 폭이 1/3로 감소한다. 전반적으로 rib이 조밀한 RD의 형상에서 면재의 온도 변화폭이 RC에 비하여 상대적으로 감소한다. CASE2, 3과는 달리 CASE1에서 rib의 온도가 면재의 발열부 온도보다 높게 예측된다. 이는 발열부의 열이 rib을 직접 가열하고 45°C의 고온으로 유지되는 위성본체로부터의 복사가열이 존재하기 때문이다. 복사가열에 의하여 rib의 상부가 가열되고 지적인 바와 같이 발열부로부터 전도열이 직접 전달되므로 발열부를 지나서 rib의 온도는 면재보다 높다. 단순 사각형 구조인 CASE2와 복합구조인 CASE3의 경우, rib이 발열부를 지나지 않으므로 CASE1에서와 같은 현상은 존재하지 않는다. 두 경우의 온도 변화폭은 거의 비슷하다. Rib의 형상밀도가 더 조밀한 CASE3이 예측되는 바와 같이 온도 균일도가 좋지만 크게 효과적이지는 않다. 그러므로 구조적인 강도가 허용된다면 제작이 상대적으로 쉽고, 무게도 가벼운 CASE2가 유리할 것이다. Rib의 조밀도에 따라 온도변화의 폭이 약 3~4°C 정도의 감소하며, 이와 같이 작은 온도차는 설계허용치의 범위에 따라 중요도가 변하므로 이에 따라 형상을 선택하면 될 것이다.

면재 내 전열효과가 큰 외부층의 두께변화에 따른 최고/최저온도 변화폭을 Fig. 5에 비교하여 도시하였다. Rib이 없는 CASE0-RN-FS#과 사각 구조 coarse rib의 경우인 CASE2-RC-FS#에 대하여 면재의 두께변화를 고려하였다. Rib이 장착되면 온도변화폭이 전체적으로 감소하고 온도는 약간 상승한다. 전열 특성이 우수한 외부층의 두께가 두꺼워 질수록 최고온도가 낮아지고 온도변화 폭도 감소하여 전체적으로 방열판의 온도가 균일해진다. Rib의 효과가 첨가되면 온도변화폭이 약간 더 감소한다.

전열 특성이 우수한 외부층 면재의 두께에 따른 최고/최저 온도차를 Fig. 6에 도시하였다. 면재의 두께가 증가할수록 온도차는 지수함수적인 비선

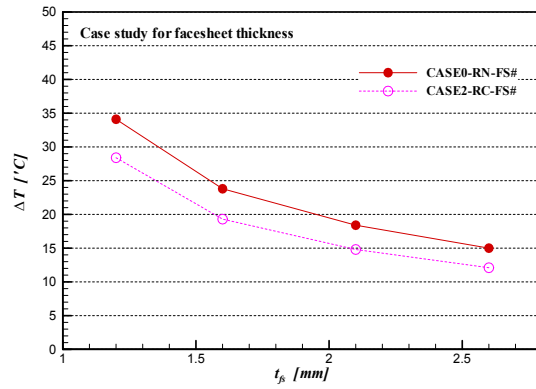


Fig. 6. Temperature difference between maximum and minimum temperatures on the facesheets for the designed facesheet thickness of CASE0 and CASE2-RC

형으로 감소한다. 외부층 면재의 두께가 1.16mm 일 때 온도변화 폭은 각각 34°C(CASE0-RN-FS1), 28°C(CASE2-RC-FS1)로써 rib의 효과로 온도변화가 6°C 감소한다. 면재의 두께가 1.64mm로 증가하면 온도변화는 24°C(CASE0-RN-FS2), 19°C(CASE2-RC-FS2)로 각각 감소하며, 2.12mm에서는 18°C(CASE0-RN-FS3), 15°C(CASE2-RC-FS3), 2.6mm면 15°C(CASE0-RN-FS4), 12°C(CASE2-RC-FS4)로 감소한다. 면재가 가장 두꺼울 때 rib의 효과에 의한 온도차 감소가 3°C로써 가장 얇은 경우의 1/2로 감소한다. 면재의 두께가 어느 정도 증가하면 온도차 변화의 구배가 작아진다. 즉, 두께 변화에 따른 전열효과와 무게 증가를 고려한 trade-off를 통하여 최적설계를 수행할 수 있을 것이다.

IV. 결 론

전자장비, 열제어 부품, 우주복사 차폐물 및 지지구조물이 하나의 시스템으로 통합된 위성용 다기능 구조체의 방열특성에 대하여 수치해석적인 연구를 수행하였으며, 이를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) Rib이 조밀할수록 전열특성이 좋아지고, 특히, 발열부에 rib이 설치될 경우 가장 효과적이다. 이 때 rib의 효과는 이를 통한 열전도뿐 아니라 본체와의 복사열교환이 모두 영향을 미치기 때문이다.
- (2) Rib이 방열판 내 전열효과에 미치는 영향은 열전도 측면만을 고려하는 것은 의미가 없으며, 구조적인 강성, 제작의 난점, 무게 등을 모두

고려하여야 한다.

(3) 전열효과가 큰 재질로 구성된 외부층 면재의 두께가 두꺼울수록 면재의 온도구배가 작아지지만 두께에 따른 온도변화 폭의 감소는 지수함수적이다.

(4) 면재 외부층의 두께에 따른 온도구배 감소와 무게 증가에 대한 trade-off를 통하여 최적화하는 것이 필요하다.

후 기

본 연구는 한국항공우주연구원 위성다기능 구조체 핵심기술 연구 과제의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) Barnett D. M. and Rawal S. P., "Multifunctional Structures Technology Experiment on Deep Space 1 Mission," IEEE AES System Magazine, 1999, pp.13~18.
- 2) Rawal S. P., Barnett D. M., and Martin D.

E., "Thermal Management for Multifunctional Structures," IEEE Transactions on Advanced Packaging, Vol. 22, No. 3, 1999, pp.379~383.

3) Fosness E. J., Qassim G. K., and Denoyer S. J., "Recent Advances In Multi-Functional Structures," Aerospace Conference Proceedings, Vol. 4, 2000, pp.23~28.

4) Das A. and Obal M. W., "Revolutionary Satellite Structural Systems Technology: A Vision for the Future," Aerospace Conference Proceedings, Vol. 2, 1998, pp.57~67.

5) 서현석, 장태성, 이주훈, 김원석, 현범석, 임재혁, 황도순, 이상곤, 조희근, 한은수, 김임수, 심은섭, "위성용 사각형 격자강화 구조의 다기능 구조체 개념설계", 한국항공우주학회지, 제 39권 6호, 2011년 6월, pp526-533.

6) Ozisik M. N., Heat Conduction 2nd Ed., 1993.

7) Gibson R. F., *Principles of Composite Material Mechanics*, 1994.

8) Mutnuri, *Thermal Conductivity Characterization of Composite Materials*, NASA Technical Memorandum 4787 NASA, 1997.